

OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS

Carlos Galindo Fernández

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ESP. MECÁNICA

Resumen

El proyecto trata sobre la optimización de un sistema de visión artificial para la detección de defectos en el vidrio. Éste sistema está integrado en la mitad de la cadena productiva de estos vidrios para minimizar la llegada de vidrios defectuosos a nuestros clientes.

Con la optimización del sistema de visión artificial, pretendemos conseguir un mayor rendimiento del sistema. Para poder realizar estas mejoras, hemos tenido que hacer un estudio sobre el comportamiento del sistema, una vez integrado en nuestra línea productiva, ya que las condiciones de cada empresa varían y hacen que el sistema tenga un peor o mejor funcionamiento.

Con el estudio pudimos comprobar donde debíamos realizar las mejoras, para así aumentar la fiabilidad del sistema.

Los puntos clave era la limpieza del vidrio al entrar en la zona de inspección y la suciedad interior existente en la cabina.

Para poder entender los posibles problemas que nos podemos encontrar con el análisis del vidrio, era importante incluir una breve explicación de las características del vidrio, del proceso de producción y del funcionamiento del sistema de visión artificial.

Introducción

Se conoce como Visión Artificial a la tecnología basada en sistemas compuestos por sensores de luz, procesadores digitales de imágenes y software especializado para el tratamiento digital de imágenes. Es decir, un "ojo artificial" con capacidad de hacer análisis de toda imagen que capta

La ventaja de estos sistemas con respecto a una inspección manual se caracteriza principalmente por tres parámetros:

- Mayor velocidad de muestreo.
- Mayor Exactitud en el análisis.
- Repetibilidad en la forma de análisis.

A pesar de que la cámara, los lentes, la iluminación y el procesador de imágenes jueguen un papel importante en el sistema, el verdadero poder de análisis radica en el software de tratamiento digital de imágenes.

Todas estas ventajas son de gran provecho para nuestra cadena productiva, si las condiciones de trabajo son las adecuadas, ya que todos los componentes son muy sensibles a las condiciones del exterior como suciedad, un mal ajuste o vibraciones causadas por el mismo transporte de la línea.

1. OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es optimizar el sistema de visión artificial para reducir al máximo la llegada de vidrios defectuosos a nuestros clientes.

Aún siendo un sistema muy útil para nuestro proceso de fabricación y poder garantizar una mayor fiabilidad, deberemos acondicionarlo a nuestras circunstancias y métodos de trabajo.

Después de hacer un estudio exhaustivo de donde se producen los fallos y que hacen que se produzcan los falsos rechazos, se modificaran las partes o métodos pertinentes para que las condiciones del análisis sean las óptimas y así ganar en fiabilidad.

Con todas estas mejoras reduciremos el falso rechazo al máximo posible y evitaremos las cargas de trabajo extra a los operarios de línea, ya que el tiempo que pierden al reponer estos vidrios sin defectos a la línea de producción, es tiempo que no están ajustando la línea para evitar defectos irreversibles.

2. MEMORIA

2.1 El vidrio

Los vidrios son materiales cerámicos no cristalinos; se denominan como materiales amorfos (desordenados o poco ordenados), inorgánicos, de fusión que se ha enfriado a una condición rígida sin cristalizarse. El vidrio es una materia inerte compuesta principalmente de silicatos. Es duro y resistente al desgaste, a la corrosión y a la compresión. Anteriormente la materia prima para la fabricación del vidrio eran solamente las arcillas.

Con el paso del tiempo se fueron implementando nuevos elementos a la fabricación del vidrio para obtener diferentes tipos. En la actualidad muchos materiales

desempeñan un papel importante, pero las arcillas siguen siendo fundamentales

El vidrio está compuesto de los óxidos de varios metales. No es un compuesto de verdad, sino una mezcla, y como tal, no tiene un punto definido de fusión. Aunque a temperatura ambiente posee la apariencia de un sólido, se le conoce por un “líquido super-refrigerado” y no tiene estructura cristalina ni de grano.

2.2 Proceso de fabricación

El proceso de fabricación se compone de distintas fases y de gran importancia todas a la hora de que se puedan producir defectos en el vidrio.

El proceso de fabricación se compone de las siguientes fases:

2.2.1 Elección de Traver y primer corte: Se elige el tipo de vidrio dependiendo del color y grosor según el modelo a fabricar y se hace el primer corte, dejando el traver cortado en la forma primitiva que tendrá el modelo.



Imagen 1: Travers en zona almacenaje

2.2.2 Corte y desbandaje: Una vez tenemos el primitivo el vidrio es transportado a una mesa de corte y sujetado por ventosa para poder ser cortado mediante un programa de control numérico. Una vez hecho el corte se realiza el desbandaje, donde se quita la banda sobrante del primitivo y se deja al vidrio con la forma del modelo a fabricar.

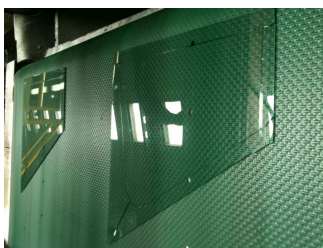


Imagen 2: Corte y desbandaje

2.2.3 Canteado: En esta fase el vidrio llega por un transportador aéreo y lo fija a una ventosa que la succiona para que haya una buena sujeción y no se pueda mover durante el canteado. El canteado se hace con una mola comandada por una máquina de control numérico, previamente cargada con el modelo a cantear. En este proceso se pueden producir la mayoría de defectos que se le

pueden hacer en todo el proceso de fabricación, por eso, tanto el programa como la mola deben estar bien ajustados.



Imagen 3.- Canteado vidrio

2.2.4 Lavado y secado: Después del mecanizado del vidrio y dejarlo con la forma y canteado exacto, el vidrio pasa por una lavadora que contiene unos rodillos y unos dosificadores de agua que la remojan y limpian la superficie de restos que hayan podido quedar del mecanizado o suciedad que pudiera tener el vidrio.

Después del lavado pasa por el secadero, donde mediante aire caliente, el vidrio se seca y quita cualquier resto de agua o partícula que pueda quedar en la superficie.



Imagen 4.- Interior lavadero/secadero

2.2.5 Serigrafía: La siguiente fase de fabricación es la serigrafía de los vidrios. En la serigrafía se pinta la banda negra de los vidrios, la degradez, los hilos térmicos o el sello en caso en que lo necesite. Dependiendo de qué tipo de vidrio sea llevará unas cosas u otras. Lo único que lleva siempre es el sello de identificación con el que se identifica el lote con toda la información de fabricación, útil cuando se detecta algún defecto en piezas ya acabadas.



Imagen 5.- Serigrafía

2.2.6 Horno: Una vez el vidrio está pintado y seco, se introduce en el horno, donde se calienta a unos 650º, punto de ablandamiento del vidrio. Éste pasa por unos rodillos que le dan la forma y curvatura deseada. A medida que el vidrio va cogiendo la forma, se le realiza el temple, mediante unas boquillas que están en el interior, soplando aire frío. Con el temple se le dan al vidrio unas características específicas, convirtiéndolo en un vidrio de seguridad.

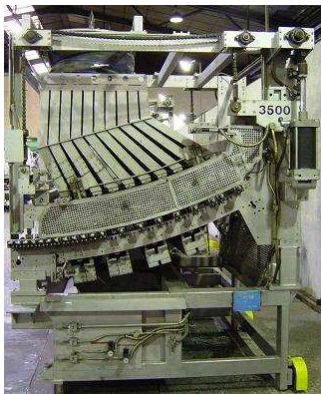


Imagen 6.- Horno

2.2.7 Empaquetado: Ésta es la última fase del proceso productivo. Una vez el horno ha realizado el temple y dado la forma al vidrio, llega a las empaquetadoras, que mediante ventosas, van apilando los vidrios en jaulas. Entre los vidrios se coloca una hoja de papel para evitar rayadas. Las lunetas traseras, al ser más grandes, son apiladas por robots neumáticos. Una vez apilados, se flejan para evitar el movimiento del vidrio y se almacenan en la zona de almacenaje.



Imagen 7.- Empaquetadora



Imagen 8.- Paquete acabado

3. SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Todo sistema de visión artificial se compone de una fuente de luz, en este caso un tubo de luz LED, un objeto a analizar, que será un vidrio, una cámara que recoge la información, un digitalizador, que es capaz de analizar toda la información recogida por la cámara y un ordenador donde quedan reflejados los resultados del análisis.

3.1 Funcionamiento: La luz de los LED's barre el vidrio al pasar, la traspasa con más o menos intensidad según el color con el que se trabaje, incide en los espejos situados debajo de las virolas de transporte y va a parar a las cámaras, tal y como se muestra en el siguiente esquema

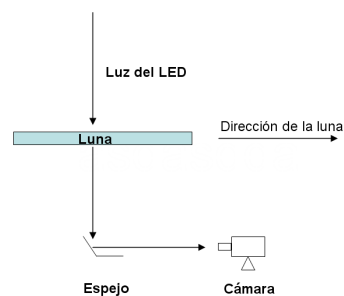


Imagen 9.- Esquema funcionamiento

Según tenga o no un defecto la luna, la potencia de la luz del LED recibida por la cámara será distinta, siendo así capaz de reconocer una luna con defecto.

Una vez el sistema capta que existe un defecto, éste envía una señal al PLC de la línea, que hace que el vidrio sea apartado a la zona de inspección, donde será inspeccionado por el operario manualmente para comprobar si el defecto existe realmente.

3.1.1 Defectos detectables: El sistema de inspección es capaz de detectar diferentes tipos de defectos.

- **Inclusiones:** con esta detección nos indica que hay algún resto de vidrio enganchado en la superficie, que se ha podido quedar pegado durante la mecanización. También se puede tratar de algún tipo de suciedad o mota de polvo que se ha podido quedar después del lavadero si éste no ha trabajado correctamente.



Imagen 10.- Inclusión

- **Distorsiones:** en este defecto es una distorsión que se detecta cuando hay un cambio en la dirección del rayo de luz producido por el LED y puede ser causado por 2 variantes.

- **Bullón:** Burbuja de aire (núcleo) que puede tener además asociada una deformación óptica en su entorno. La deformación es más acentuada cuanto más cerca está el núcleo de la superficie, pudiendo incluso estar en la propia superficie, y, en este caso, el bullón (burbuja) suele ser abierto

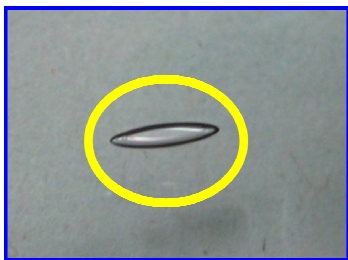


Imagen 11.- Bullón

- **Rayas:** cuando existen rayas en el vidrio el sistema detecta un BF Scratch. Este es el defecto más difícil de detectar por el sistema dado que puede llegar a ser muy fino y ser casi indetectable. También se tiene que tener en cuenta la dirección de la raya, ya que al hacer un escáner lineal, si la raya tiene dirección contraria a la del movimiento de la luna será más difícil de detectar.



Imagen 12.- Raya

- **Petadura:** este defecto es cuando se produce una petadura en el vidrio, se produce normalmente cuando se realiza el corte y desbandaje del vidrio o en el taladrado, en caso de que lleve. Este defecto es fácilmente detectable, ya que suele ser de un tamaño considerable para su correcta detección.



Imagen 13.- Petadura

- **Cristal roto:** cuando se produce una rotura del vidrio, el sistema lo detecta como cristal roto. Este defecto no se produce en muchas ocasiones y no da ningún tipo de problema, ya que es un defecto muy grande que se ve a simple vista.

- **Desconchón:** es el defecto que más se produce en la fabricación y por lo tanto en el que más incidencia hay que hacer. El desconchón se puede producir durante el desbandaje del vidrio, al no haber ejercido la presión adecuada en el corte o en los dedos de desbandaje.

Este defecto siempre se produce en el canto del vidrio, con lo que en muchas ocasiones si los parámetros no están bien ajustados pueden pasarse hacia adelante y continuar la línea de fabricación.



Imagen 14.- Desconchón

- **Sombra:** durante el canteado del vidrio la muela puede estar descentrada, más arriba o más abajo, con lo que al cantar la mola come cantea mas por una parte que por otro, quedando lo que se llama sombra. Este defecto es muy común y se tiene que estar muy pendiente del estado de las molas.



Imagen 15.- Sombra



3.2 Partes del sistema

El sistema de inspección se compone de diferentes partes:

Unidad de control:

La unidad electrónica de control (ECU) incluye la fuente de alimentación interrumpible (UPS), la jaula compacta de tarjetas PCI, la fuente de alimentación del escáner, el panel eléctrico, el monitor, el teclado y el panel de control.

La unidad eléctrica de control debe instalarse a menos de 2 metros del escáner. La ECU es un gabinete a prueba de polvo de montaje en el piso.

La ECU es la que analiza los datos recogidos por la cámara y es donde podemos interaccionar con el sistema y calibrarlo.

La ECU contiene los circuitos electrónicos de procesamiento central del sistema, los circuitos de diagnóstico e interfaz y el controlador eléctrico del transportador. La pantalla de video a color y la terminal de ingreso de datos se incluyen para permitirle al personal de servicio interactuar con el sistema.

Cabina:

La cabina está integrada en la línea de producción.

En la cabina están los elementos más sensibles del sistema.

La iluminación viene procedente de un LED, que emite un rayo de luz hacia las lentes de Fresnel.

Este rayo, una vez a pasado por una lentes de Fresnel, el vidrio y de nuevo por otra lente de Fresnel, es reflejado por un espejo inclinado 45º y dirige el rayo hacia la cámara que recoge los datos y los transmite al ECU, donde serán analizados.

3.3 Calibración sistema

Para que el sistema de visión artificial tenga un correcto funcionamiento y poder garantizar así la correcta detección de los defectos del vidrio se deben ajustar unos parámetros que nos permitirán definir la sensibilidad del sistema a la hora de detectar defectos, como también definir las calidades que nos exigen los clientes dependiendo de los acabados que quieran para sus productos.

Una mala calibración nos puede suponer tener una baja fiabilidad del sistema o tener un rechazo elevado por causa de los falsos rechazos.

Describiremos los parámetros más importantes para poder tener una buena calibración.

3.4 Creación de programa

Cuando se van introduciendo nuevos modelos, se le deben crear nuevos programas al sistema para que pueda realizar el análisis.

Estos programas se crean a partir de otros ya creados anteriormente, solo se modifican los parámetros necesarios para determinar la calidad que se desea obtener.

Dependiendo del fabricante, el programa será, más o menos restrictivo con los defectos.

En cada programa, está grabada la silueta de cada modelo de vidrio y se detallan las calidades de cada zona.

3.5 Mantenimiento del sistema

El mantenimiento de basa básicamente en la limpieza de los elementos del interior de la cabina, que son de gran sensibilidad.

De esta limpieza depende el funcionamiento de todo el sistema, ya que si no se hace correctamente, el sistema en general pierde sensibilidad y puede ser que no sea capaz de inspeccionar el vidrio correctamente.

3.6 Análisis del sistema

3.6.1 Fiabilidad del sistema

La parte más importante del sistema, es su fiabilidad. Necesitamos que esta sea lo más elevada posible y poder garantizar la calidad de nuestra producción.

Para poder comprobar si el sistema es fiable o no, se cogen unas probetas con un defecto marcado y dimensionado, se hacen pasar por el sistema de inspección y se contrastan los resultados.

El sistema crea hojas de cálculos con todos los datos de inspección, con los que podemos comparar los resultados y ver si todo es correcto.

3.6.1.1 Falso rechazo

El error que encontramos, entre las tablas anteriores, es el llamado falso rechazo.

El falso rechazo es causante de una pérdida de dinero y tiempo a la empresa, ya que cuando el sistema detecta que el vidrio es malo, éste es apartado a la zona de inspección, donde debe ir el operario a inspeccionar el vidrio y comprobar si realmente tiene defecto o no.

En caso de que no lo tenga, el vidrio debe ser introducido a la cadena de fabricación de nuevo, causando un trabajo extra al operario.

3.6.2 Mejoras realizadas al sistema**Mejora de la limpieza del vidrio**

El falso rechazo es creado, en mayor parte, por la suciedad que el sistema detecta en la superficie del vidrio la salir del mecanizado. Esta suciedad se puede causar por diversos factores. Para eso hemos establecido varias mejoras y evitar que el vidrio llegue con suciedad a la zona de inspección. Para solucionar este problema;

- Hemos implantado un metro más de secadero en la línea. Con esto no quedaran restos de agua en la superficie del vidrio, que el sistema detecta como defecto.

- Colocamos un filtrador de agua, para que el agua del lavadero, que es un circuito cerrado, se vaya purificando a medida que va limpiando vidrio. Así le quitamos las partículas del agua y solucionamos la aparición de partículas en el vidrio y además conseguimos un ahorro de agua importante.

- Cambiar rodillos del lavadero, ya que con el uso se van deteriorando y no limpian lo suficiente. Aparte, van dejando restos en el vidrio cuando están en mal estado.

Mejora de la ventilación de la cabina

La cabina está cerrada al exterior, pero tiene 2 oberturas por donde entran y salen los vidrios. El problema es la entrada de polvo y partículas del exterior, que hacen que los espejos, cámaras y lentes se vayan ensuciando. Con esta suciedad el sistema pierde sensibilidad, por eso hemos introducido una corriente de aire en el interior de la cabina para crear una sobrepresión y evitar que el aire entre dentro y crear un ambiente limpio.

Mejora de los transportes

Los transportes que pasan por el interior de la cabina de inspección se mueven a través de unos rodillos. Éstos, con el paso del tiempo y uso, se van deteriorando, pudiendo producir vibraciones o movimientos que hacen que el sistema no vea bien el vidrio y detecte defectos inexistentes. Por eso habrá que ir revisándolos y cambiarlos en caso que sea necesario.

Mejora de la seguridad

Se instalará un final de carrera en la línea de producción para poder comprobar si el operario ha capado el sistema de visión artificial. Éste final de carrera será un contador, que contrastando el conteo con el otro existente en la línea nos dirá si el sistema ha estado desconectado.

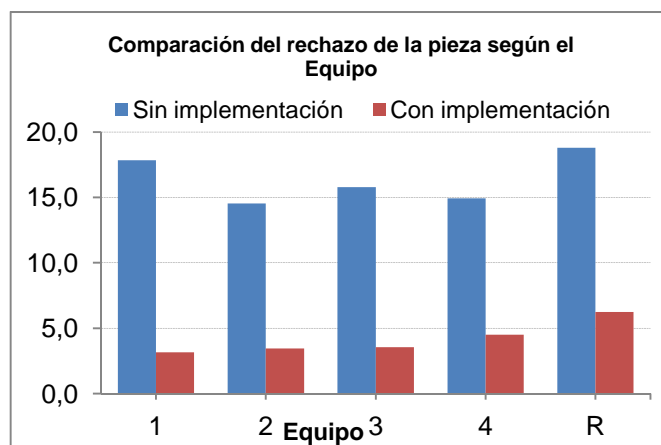
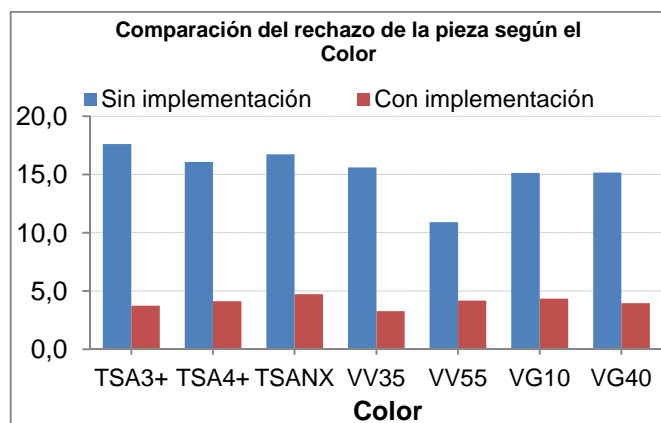
4. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS**4.1 Cálculo de ahorro de tiempo**

Falso rechazo con cadencia de 375 vidrios/hora			
Mes de control	Falso rechazo observado	Vidrios totales	Tiempo utilizado (min.)
Octubre 2011	16.40 %	61.5	30.75
Marzo 2012	3.96 %	14.8	7.4

La reducción ha sido de 12,44 puntos, esto supone una reducción de 46,7 vidrios/hora.

Esta reducción supone un ahorro de 2.580'17€ al mes, que es el tiempo que debería dedicar el operario a analizar los falsos rechazos.

Para comprobar que los falsos rechazos no se producían por asuntos externos a los estudiados, se analizaron los resultados dependiendo de los equipos que trabajaban en los turnos y también por los diferentes colores del vidrio.



4.2 Cálculo de caudal para ventilación

Para tener una buena ventilación por sobrepresión en la cabina, necesitaremos calcular el caudal necesario del aire que debemos insuflar en el interior, dejando así el aire del interior limpio, sin partículas.

Primero debemos calcular el volumen de la cabina

Nuestra cabina mide 2m de largo x 1'5m. de ancho x 2 m. de alto, por lo que nuestro volumen será de: $V=6m^3$

Éste volumen lo tenemos que multiplicar por un factor de renovación de aire. Éste factor viene dado en unas tablas. Dado el uso que tiene la cabina, el factor que utilizaremos es $N=10$

$$Q=V \times N$$

$$Q=60m^3/h$$

4.3 Elección hidrociclón

Nuestras partículas están comprendidas entre 10^{-3} y 10^{-2} milímetros, y con un caudal de 3000 l/h.

Con estos datos hemos elegido un hidrociclón que sea capaz de darnos el caudal necesario para un buen funcionamiento del sistema y que sea capaz de eliminar las partículas que contiene nuestra agua.

5. PLIEGO DE CONDICIONES

Limpieza del vidrio: el objetivo principal era conseguir que el vidrio saliera lo más limpio posible del lavadero después de ser mecanizado. Para poder conseguirlo, introdujimos varias mejoras.

Ventilación de la cabina: debemos tener un aire limpio de impurezas en el interior de la cabina para que el sistema funciona en condiciones óptimas, por eso instalaremos un sistema de ventilación que creará una pequeña sobrepresión en el interior y haremos que esté libre de partículas.

Mejora de los transportes: los cojinetes con el uso se van deteriorando y no giran concéntricos al eje, esto hace que el vidrio pueda votar y vibrar en la zona de inspección y hacer que el sistema rechace un vidrio aunque no tenga ningún defecto.

Mejora de la seguridad: debemos instalar un final de carrera en la línea de producción para que los operarios no puedan captar la señal del PLC y hacer que no se rechacen vidrios.

6. PRESUPUESTO

6.1 Presupuesto ingeniería

PRESUPUESTO INGENIERÍA			
Concepto	€/hora	Horas	Total €
INGENIERO	20	15	300
BECARIO	8	160	1.280
TOTAL €			1.580

6.2 Maquinaria y materials

PRESUPUESTO MAQUINARIA Y MATERIALES		
Concepto	Precio €	
FILTRADOR AGUA LAVADERO	316'24	
SISTEMA DE VENTILACIÓN Ventilador Accesorios	173'30 25'00	
SECADERO	6.280'00	
RODILLOS LAVADERO	2.650'00	
	TOTAL €	9.444'54

6.3 Implantación y puesta a punto

PRESUPUESTO IMPLANTACIÓN Y PUESTA A PUNTO			
Concepto	€/hora	Horas	Precio €
INSTALACIÓN FILTRADOR AGUA	25	8	200
INSTALAR VERNTILACIÓN	20	5	100
INSTALACIÓN SECADERO	20	50	1.000
CAMBIO RODILLOS LAVADERO	15	12	180
TOTAL €			1.480



6.4 amortización

La amortización del proyecto la calcularemos solamente con el ahorro que supone el ahorro de tiempo por parte del operario, a la hora de tener que retirar vidrios con falsos rechazos e introducirlos de nuevo en la cadena de fabricación.

Coste total de proyecto= **12.504'54 €**

Ahorro mensual con mejoras= **2.580'17 €/mes**

Amortización= Coste total/Ahorro mensual

Amortización= 4'84 meses.

El proyecto estará amortizado en 4'84 meses.

7. CONCLUSIONES

Una vez instaladas todas las mejoras y habiendo visto los resultados, podemos decir que ha sido un éxito, ya que no se ha necesitado una gran inversión ni de dinero ni de tiempo, ya que hay que contemplar el tiempo que se ha necesitado para montar las mejoras, al tener la línea parada.

Con los cambios introducidos, no solo mejoramos nuestra calidad al reducir notablemente la llegada de vidrios defectuosos a nuestros clientes, sino que también hemos mejorado en el proceso de fabricación, ya que liberamos al operario de línea de un trabajo que no daba ningún añadido a nuestro producto. Por lo contrario. al liberarle de este trabajo, se podrá dedicar a mantener la línea bien ajustada, evitando así, posibles paradas no programadas y la aparición de defectos en los vidrios.

También hemos mejorado ambientalmente, ya que al instalar el hidrociclón para filtrar el agua del lavadero, ahorramos una gran cantidad de agua, ya que antes, cuando notábamos que nos producían problemas se cambiaban los 10.000 litros que contenía el circuito del lavadero.

En la amortización solo hemos tenido en cuenta los ahorros directos, pero también debemos contemplar el aumento de valor de nuestra marca. Aún así tenemos la amortización en 4'84 meses, período bastante corto para poder amortizar un proyecto.

El hecho de que llegarán paquetes de vidrios defectuosos era muy perjudicial para nuestra marca, ya que eran causantes de indemnizaciones y de pérdida de clientes.

Con este proyecto de optimización, he aprendido a analizar un sistema en una cadena de producción, identificar los problemas, estudiar las posibles mejoras, implantarlas y ver los resultados.

Evidentemente me ha aportado muchos conocimientos sobre la visión artificial, campo que desconocía, sobre la ventilación de ambientes y sobre la filtración de agua.

Pero sobretodo, la experiencia de poder llevar a cabo todo el proceso de mejora de una instalación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Manual del vidrio. Saint Gobain Glass. Edición 2001
- Manual del agua. Ed. McGraw hill. Frank N. Kemmer y John Mc Callion
- Svarovsky, L. "Solid-liquid Separation", Ed. Elsevier, Amsterdam (1981).
- Rushton, A.; Ward, A.S. y Holdich, R.G.; "Solid-liquid Filtration & Separation Technology", Ed. VCH, Germany (1996).
- Ortega Rivas, E. "Applications of the liquid cyclone in Biological separations". Eng. Life Sci., 4, 119-123 (2004).
- Aguirre, M. "Depuración centrífuga". Celulosa y Papel, 2, 14-18 (2000).
- Petty, C.A. y Parks, S.M.; "Flow predictions within hydrocyclones". Filtration & Separation, 38, 28-34 (2001).
- Schweitzer, A.; "Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers", Ed. McGraw-Hill, New York (1979).
- He, P.; Salcudean, M. y Gartshore, I.S.; "A Numerical Simulation of Hydrocyclones". Chemical Engineering Research & Design. 77, 429-441 (1999).
- Chen, W.; Zydek, N. y Parma, F. "Evaluation of hydrocyclone models for practical applications". Chemical Engineering Journal, 80, 295-303 (2000).
- www.coopercameron.com
- www.espiasa.com.pe
- www.natcogroup.com
- http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_6.html
- www.copersa.com
- www.soler&palau.es
- www.salvadorescoda.com

9. ANEXOS

- Anexo 1. Calidad de canteado
- Anexo 2. Test de fiabilidad
- Anexo 3. Tabla de control de defectos
- Anexo 4. Tabla de renovaciones de aire
- Anexo 5. Control de rechazo del sistema
- Anexo 6. Ventilador
- Anexo 7. Hidrociclón